

# 가혹한 기후조건하에서 콘크리트시공성에 대한 연구

嚴 泰 善

雙龍洋灰工業(株) 中央研究所  
2次製品研究室 先任研究員

## 〈 목 차 〉

- 1. 서 론
- 2. 동·하절기 피해현상 및 작용기구
  - 2.1 동절기
  - 2.2 하절기
- 3. 동절기 콘크리트시공성
  - 3.1 실험계획
  - 3.2 실험결과·고찰
- 4. 하절기 콘크리트시공성
  - 4.1 양생조건
    - 4.1.1 실험계획
    - 4.1.2 실험결과·고찰
  - 4.2 타설지연
    - 4.2.1 실험계획
    - 4.2.2 실험결과·고찰
- 5. 결 론
  - 5.1 동절기 시공
  - 5.2 하절기 시공

## 1. 서 론

콘크리트의 물성은 양생온도, 습도, 풍속 및 양생기간 등 제반조건에 큰 영향을 받는다. 따라서, 시공자는 동일재료로 양호한 콘크리트물성을 얻기 위해 혼합에서 타설 후 양생 완료까지 최선을 다 해야 한다.

그런데, 동하절기에 콘크리트의 시공은 불충분한 양생조건 때문에 각종 물성저하가 발생되기 쉽다. 특히 혹한기와 혹서기에는 구조물의 내구성 및 작업효율이 극도로 저하되

어 작업까지 중단하는 사례가 빈번하므로 시공자와 제조업자 모두 경제적 손실을 크게 받고 있다.

본 연구는 국내 동·하절기에서의 콘크리트 피해정도를 실험하여, 그 대책을 세우고자 했다.

## 2. 동·하절기 피해현상 및 작용기구

동·하절기의 콘크리트시공시 발생하는 피해현상은 표1과 같으며, 이런 현상의 원인은

表 1. 동·하절기, 콘크리트의 피해현상

절 기		항 목	피 해 원 인	피 해 현 상
동 절 기	미경화콘크리트	• 초기동해 • 양생부족	• 초기강도 • 장기강도 • 강도회복불능	
	경화콘크리트	• 공극수의 동결	• 조직파괴 및 균열발생	
하 절 기	미경화·경화 콘크리트	• 초기수화촉진 • 혼합수증발 • 수화열증가	• 장기강도저조 • 작업성저조 • 각종균열발생	

계절적 조건과 콘크리트의 노출 환경조건에 따라 다르다.

### 2.1 동절기

동해의 주 원인은 콘크리트의 공극수가 동결될 때 발생하는 부피팽창(약 9%)이 팽창압으로 작용해 구조물의 각종 파괴작용을 일으킨다. (표2 참조)

그러나, 그림1과 같이 콘크리트의 잔존수는 공극크기 및 포수도에 따라 동결온도 및 피해정도가 달라진다.

### 2.2 하절기

하절기의 품질저하는 초기수화촉진 및 혼합수(콘크리트 내의 잔존수)증발 등에 의해 발생된다. 즉, 고온에서 양생된 시멘트·콘크리트는 초기수화 반응이 촉진되지만 재령경과에 따라 수화반응이 지연되어, 장기강도가 저조해진다. 이것은 시멘트입자주위에 생성

된 반투막(미세한 겔상의 수화물)이 빠르게 투과성으로 전환되어 시멘트의 수화반응을 방해하기 때문이다. 한편, 혼합수의 증발은, 반응에 필요한 양생수의 공급차단과, 표3과 같은 건조수축작용 등을 수반하게 되어 강도 저하 및 균열발생 등이 원인이 된다.

## 3. 동절기 콘크리트시공성

### 3.1 실험계획

실험에 사용한 시멘트, 골재, 및 배합조건은 표 3, 4, 5와 같다.

한편, 동절기 시공대책을 수립키 위한 실험은 둘로 나뉘어서 수행했으며, (그림 2.3 참조) 여기서 그림 2는 동절기 영향인자별로 물성변화를 파악키 위한 옥외폭로 실험조건이며, 그림 3은 초기강도수준별로 내동해성을

表 2. 동절기 콘크리트의 동해작용기구

구 분	항 목	작 용 기 구	비 고
미경화콘크리트	생성된 얼음결정이 미동결수와 접촉 성장, Ice lense를 형성하는 것이 동해의 원인임		강도가 낮고, 냉각속도가 늦을 때 동해가 큼
경화콘크리트	공극수가 동결될 때 미동결수는 포화되지 않은 공극으로 이동한다. 이때 발생된 점성저항이 동해의 원인임		동결속도가 빠르고, 습윤도가 크며, 공극간의 거리가 크면, 동해가 큼

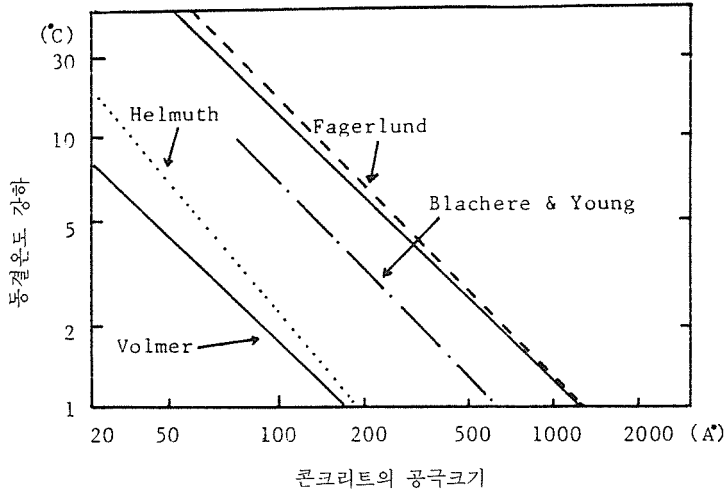


그림 1. 콘크리트의 공극크기에 따른 동결온도강하

表 3. 습도범위별, 건조수축기구

습도	항목	건조 수축 기구	세공의 직경	물의 존재상태	비고
0~20%		화학결합수의 이탈	-	화학적 결합수	고온에서 발생
0~20%		층간수의 이탈	4 A°	층간수	-
0~40%		고상의 표면장력 변화	4~10A°	물리적 흡착수	표면장력 증대
40~80%		응축수의 표면장력	10~100A°	gel 공극의 응축수	-
80~98%			100~1000A°	모세관 공극의 응축수	

表 4. 시멘트의 물리특성

시멘트	항목	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응 결			압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			
			W/C (%)	초 결 (min)	종 결 (hr)	1 일	3 일	7 일	28 일
1종		3210	24.5	230	6 : 05	72	179	255	328
3종		4500	27.7	240	6 : 05	194	311	365	447

表 5. 골재특성

골재	항목	조립율	비중	흡수율 (%)	유기불순물 (%)	
굵은 골재		6.75	2.62	1.39	-	14.2
잔 골재		2.71	2.60	1.01	-	-

表 6. 배합조건

배합	항 목	시멘트종류	배합조건 (kg / m <sup>3</sup> )				AE계	W/C (%)	Slump (cm)
			C	W	S	G			
A <sub>1</sub>		1 종	270	173	713	1214	×	64.0	16
A <sub>2</sub>			370	173	701	1114	×	46.7	16
A <sub>3</sub>			370	160	714	1165	×	43.2	8
A <sub>4</sub>			370	145	644	1114	○	39.0	8
A <sub>5</sub>		3 종	370	154	635	1129	○	41.6	8

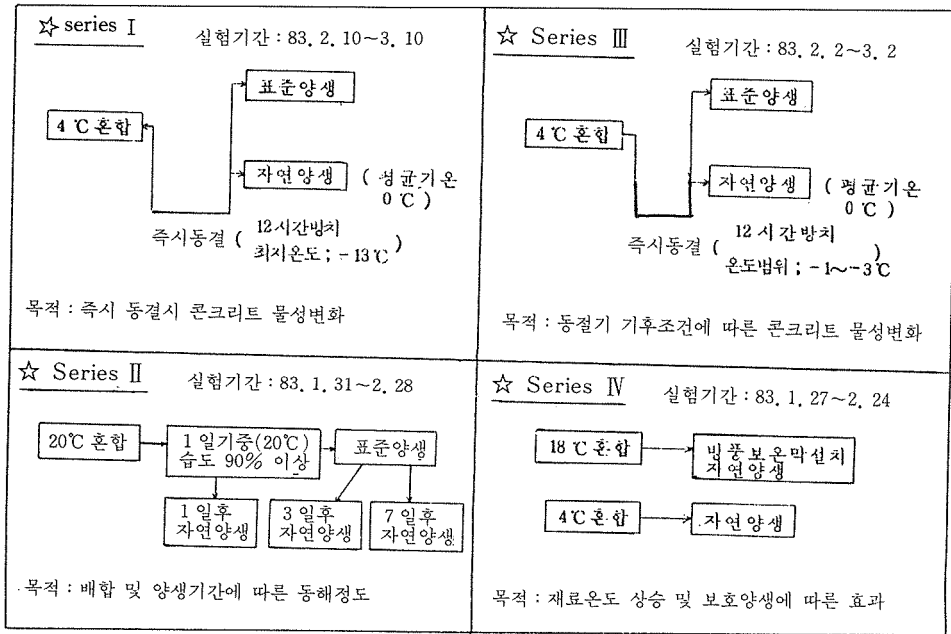


그림 2. Series I - IV의 실험결과

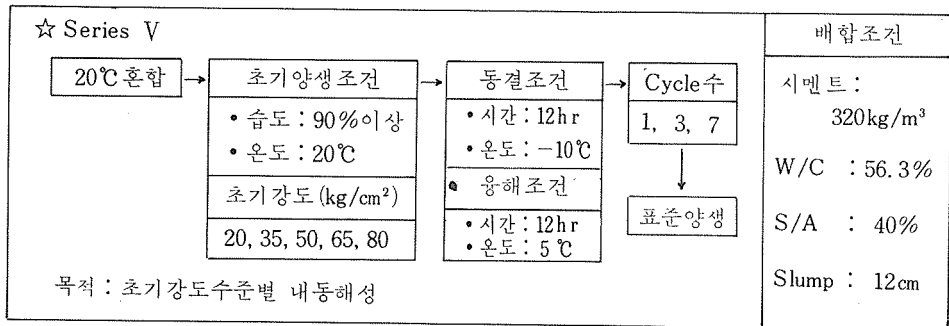


그림 3. Series V의 실험계획

파악해 최소보온 양생기간을 설정키 위한 실험조건이다.

### 3.2 실험결과 고찰

#### 3.2.1 영양인자

영양인자별 물성변화를 파악키 위한 실험 결과는 그림 4,5,7,8과 같다.

Series I의 실험결과(그림 4), 초기에 영하의 기온으로 동해를 받은 콘크리트는 이후 어떤 조치를 취해도 강도회복이 불가능함을 알 수 있다.

Series II의 실험결과 (그림 5), 콘크리트의 내동해성을 향상시키기 위해서는 단위시멘트량을 증가시키고, W/C를 낮추며, AE제균 사용하는 것이 바람직하다. 이때 양생일을 증가하거나, 조강형시멘트를 사용하면, 내동해성은 더욱 향상된다.

이와 같은 결과는 양생재량이 증가되거나, W/C가 낮으면 콘크리트의 기공크기가 작아지고, (그림 6참조) 이에 따라 콘크리트내의 응결온도강하가 발생되는관계로

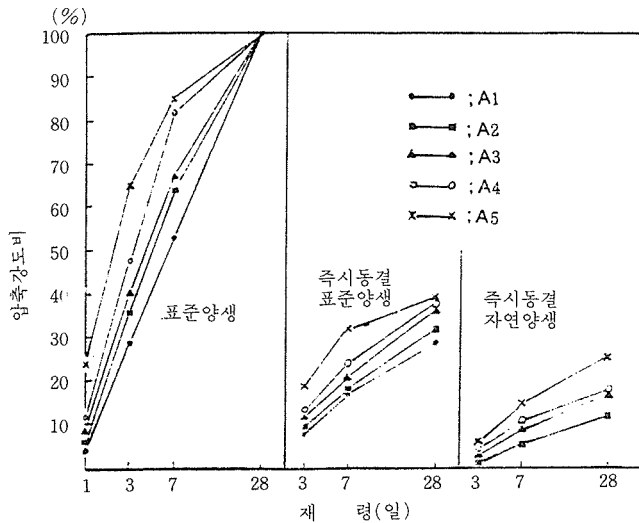


그림 4  
실험 Series I의 결과

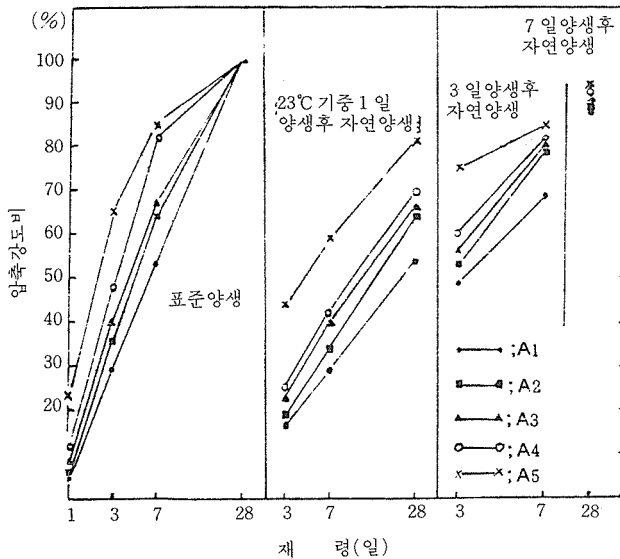


그림 5.  
실험 Series II의 결과

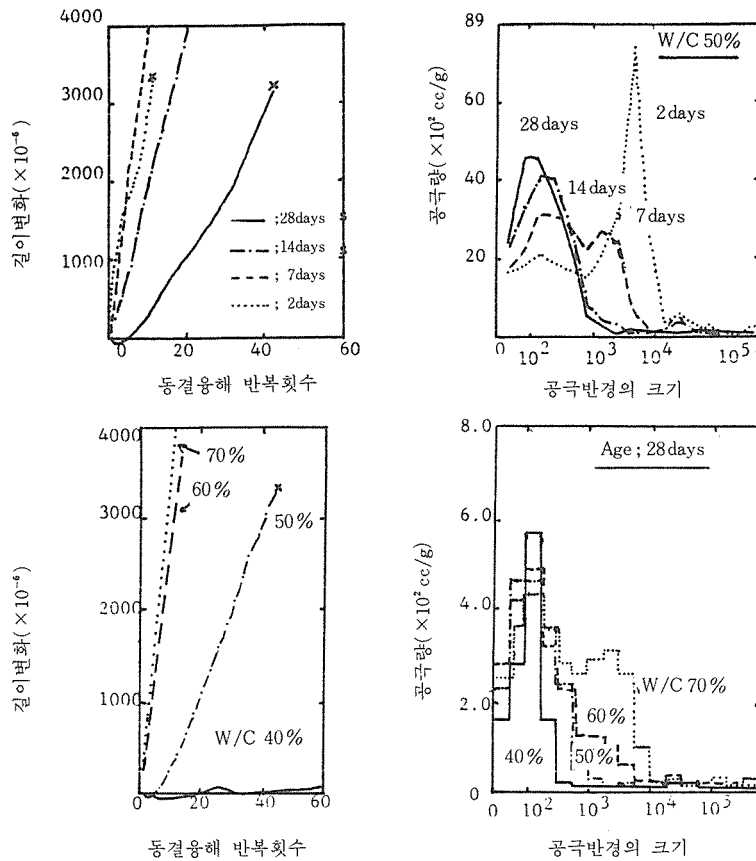


그림 6. 양생일 및 W/C 변화에 따른 내동해성

表 7. 초기 7일양생기간 중의 양생조건

실험	조건	양 생 조 건							
Series I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험기간 : 83. 2. 10 ~ 3. 10</li> <li>• 초기 7일간 온도변화</li> </ul>	구분 \ 일	1 일	2 일	3 일	4 일	5 일	6 일	7 일
		최저온도 (°C)	-13	-8	-14	-12	-13	-1	-5
		최고온도 (°C)	2	2	-3	-3	-1	6	6
Series III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험기간 : 83. 2 ~ 3. 2</li> <li>• 초기 7일간 온도변화</li> </ul>	구분 \ 일	1 일	2 일	3 일	4 일	5 일	6 일	7 일
		최저온도 (°C)	-1	-3	-4	-3	-2	-2	-6
		최고온도 (°C)	12	7	6	6	8	9	6

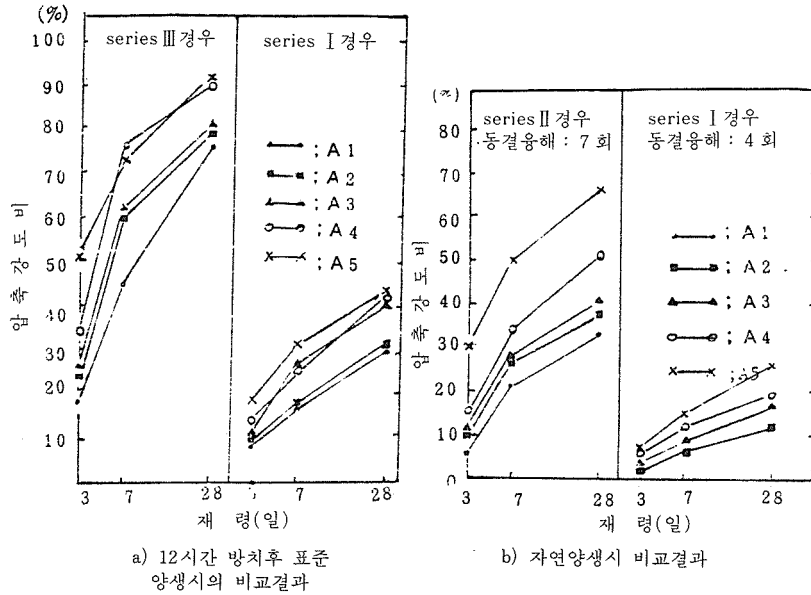


그림 8. Series I·III의 실험결과 비교

(그림 1 참조), 콘크리트의 내동해성이 향상되는 것이다.

Series III은 Series I 과 폭로시기를 서로 달리해, 폭로조건에 따른 피해정도를 서로 비교한 것으로, 이때의 폭로조건은 표 6과 같다.

콘크리트의 동해는 동결반복수, 습윤도, 동결온도, 융해온도등의 조건에 따라 달라지지만, 본 실험결과, 미경화콘크리트는 특히, 동결온도조건에 의해서 심각하게 영향을 받고 있다.

Series IV(그림 8)은 보호양생효과를 육외 폭로 조건에서 실험한 결과이다. 이때 보호양생(타설온도: 18°C, 단열보온양생)을 실시한 조건은 강도발현이 약 40~50%정도 향상되었고, 특히 AE제나 조강형시멘트를 대체 사용했을 때는 거의 표준양생강도와 필적하는 수준이다.

### 3.2.2 초기강도수준별 내동해성

콘크리트의 내동해성은 콘크리트내의 공극조직과, 외부환경조건(동결융해조건)의 관계인데, 콘크리트 공극조직상태등을 실무면

에서 직접적용하기는 곤란하므로, 일반적으로 콘크리트의 강도저하를 동해정도의 판단 기준으로 삼고 있으므로 본 연구에서도 이를

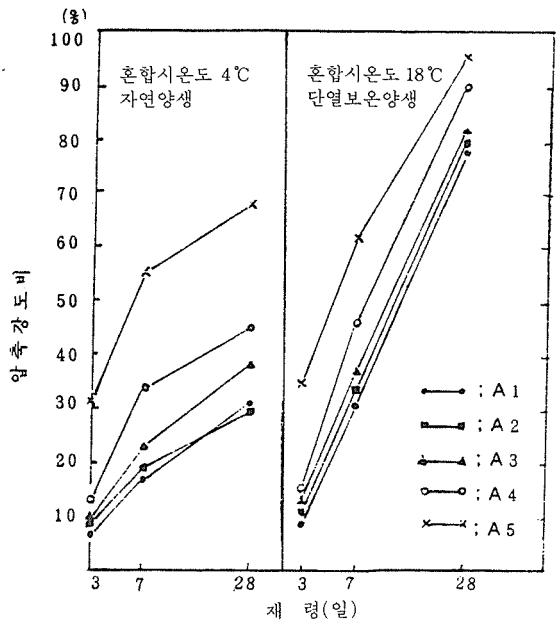


그림 8. Series IV의 실험결과

表 8. 초기강도 수준별, 내동해성 (28일 강도 발현율)

동결시의 강도수준	동 결 용 해 반 복 수			비 고
	1 회	3 회	7 회	
20kg/cm <sup>2</sup>	110%	88%	84%	동결온도 : -10℃
35kg/cm <sup>2</sup>	112%	90%	85%	용해온도 : 5℃
50kg/cm <sup>2</sup>	109%	91%	85%	동결시간 : 12hr
65kg/cm <sup>2</sup>	101%	91%	86%	용해시간 : 12hr
80kg/cm <sup>2</sup>	-	92%	87%	1회소요시간 : 24hr

적용하였고, 동결시의 초강도와 동결용해 반복회수가 콘크리트의 동해에 큰 인자인 관계로 Series V의 시험을 통하여 그 동해정도를 알아 보았다. 표 7의 결과, 1회동결을 받았을 때는 예상외로 콘크리트의 강도발현이 향상되었다. 이는 콘크리트의 동결시에 조직 파괴 현상이 발생되지 않고, 단지 수화 정지 상태에 있다가, 재차 양생이 됨에 따라 치밀한 조직체가 형성되었기 때문이다(초기 저온 양생효과). 이런 결과는 吉田氏의 실험(그림 9 동결조건 : -40℃, 1일)에서도 같은 결과를 제시하는 데, 다만 배합조건에 차에 따라 그의 효과는 달랐다. 한편 본 실험과 동일조건

으로 실험한 神田氏도 경화시점에 있는 콘크리트는 전혀 동해피해가 없다고 보고하고 있다.

이상의 결과에서 국내 동결기 조건하에서는 다소의 강도(20kg/cm<sup>2</sup> 정도)만 발현된 콘크리트는 1회동해후, 재차 동해를 받지 않는 조건에서 충분히 양생을 하면, 그 피해를 무시할 수 있다. 한편, 국내 동결기조건을 감안, 초기강도 수준별로 3회와 7회씩 동결용해(동결조건 : -10℃, 12시간, 용해조건 : 5℃, 12시간)를 반복해 실험한 결과(표 7), 35kg/cm<sup>2</sup> 이상의 강도수준이면, 표준양생강도의 90%, 85% 이상에 강도를 갖는다. 이런 강도발

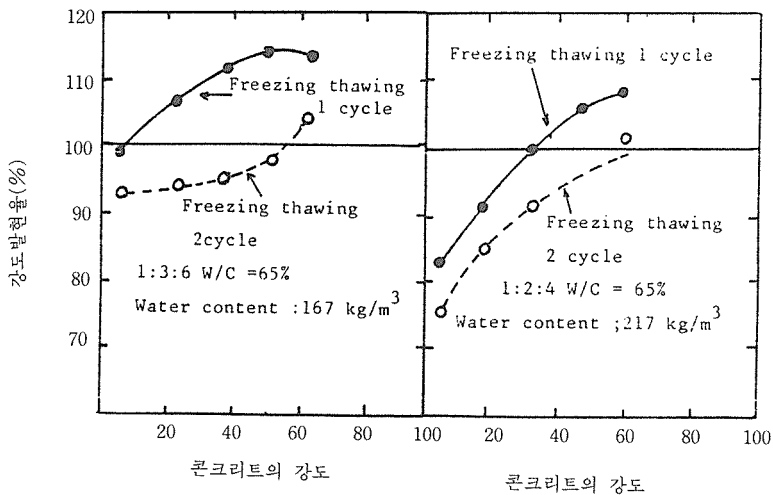


그림 9. 초기강도 수준별 내동해성 (吉田氏)



현은 동결융해 반복중에 부족된 양생기간을 적산온도 개념을 도입 빼 주게 되면, 각각 95%, 90%의 강도발현을 한 셈이 된다. 실제 현장조건에서 표준양생의 90% 강도발현이 어려운 실정과, 현장구조물이 실험용 공시체에 비해 Mass한 점을 감안하면, 국내 동결기 시공시, 35kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 갖도록 보호양생을 실시했을 때는 거의 동해를 받지 않을 것으로 판단되며, 50kg/cm<sup>2</sup>까지 보호양생을 실시하면, 충분히 안정된 시공이 가능할 것이다.

#### 4. 하절기 콘크리트시공성

##### 4.1 양생조건

###### 4.1.1 실험계획

배합조건 및 실험조건은 표 8.9와 같다.

###### 4.1.2 실험결과 고찰

실험결과는 그림 10.11과 같다. 그림 10의 결과, 하절기 강도발현은 75~85% 수준이며, 이런 하절기조건에서 재료온도를 낮출 때는 강도가 5~10% 향상된다.

이것은 낮은 온도에서 양생된 시멘트가 젤상의 결정석출 및 성장이 크게 향상되기 때문이며, 이에 따라 콘크리트 내부의 공극이 감소해, 조직이 치밀해지기 때문이다.

한편, 그림 11에서 방풍 일사차단까지 했을 때, 표준양생강도의 90%까지 향상되며, 또한 살수에 의해 충분히 양생수를 공급했을 때는 표준양생강도에 필적하는 수준까지 강도가 향상되면서 각종 균열 발생등의 방지효과도 갖게 된다(그림 12, 13참조).

#### 4.2 타설지연

##### 4.2.1 실험계획

시멘트 ; 320kg/m<sup>3</sup>, Slump ; 12cm, W/C : 54%, S/A ; 38%의 배합조건으로 각 온도조건(20°C~35°C)에서 타설지연(0시간, 1시간, 1.5시간)에 따른 물성변화를 측정했다

##### 4.2.2 실험결과 고찰

표 10은 타설지연에 의해 발생된 Slump loss를 가수처리로 회복시켰을 때의 물성저하를 파악한 것이다.

본 실험결과 1.5시간 타설지연후 가수로

그림 9. 배합조건

배 합 \ 조 건	배 합 조 건		
	시멘트	W/C	S/A
A <sub>0</sub>	320 kg/m <sup>3</sup>	50 %	37 %
A <sub>1</sub>	320 kg/m <sup>3</sup>	60 %	37 %

表 10. 실험조건

실험 항목	재료온도	양 생 방 법	옥외실험시조건
Series VI	30°C	A : 표준양생	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평균기온 : 26°C</li> <li>• 초기 10일간</li> <li>평균기온 : 29°C</li> <li>• 습도 : 70~85%</li> </ul>
	20°C	B : 자연양생	
	15°C	C : 방풍·일사차단 (초기 6일간) D : 살수(초기 3일간 5min) E : C+D	

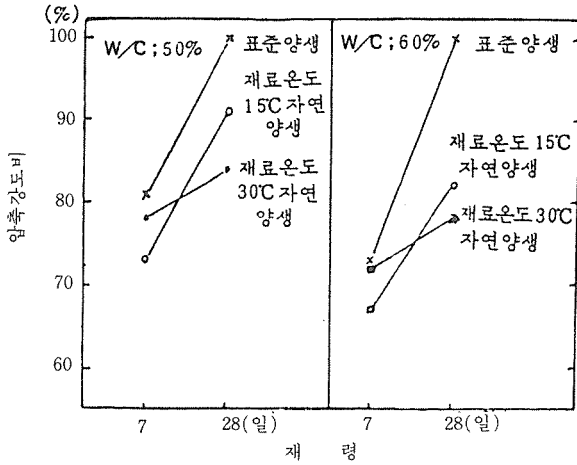


그림 10. 배합·재료온도별 하절기 물성변화

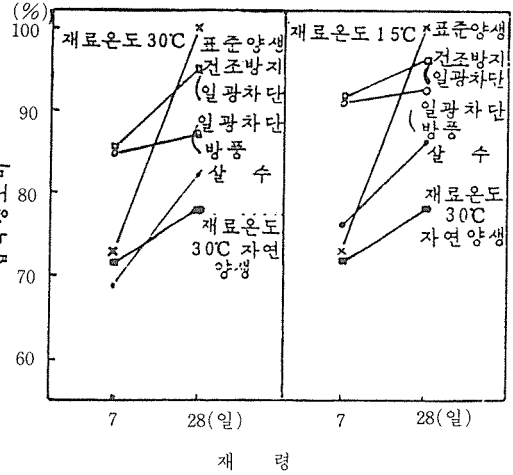


그림 11. 양생조건별 하절기 물성변화 (W/C 60%)

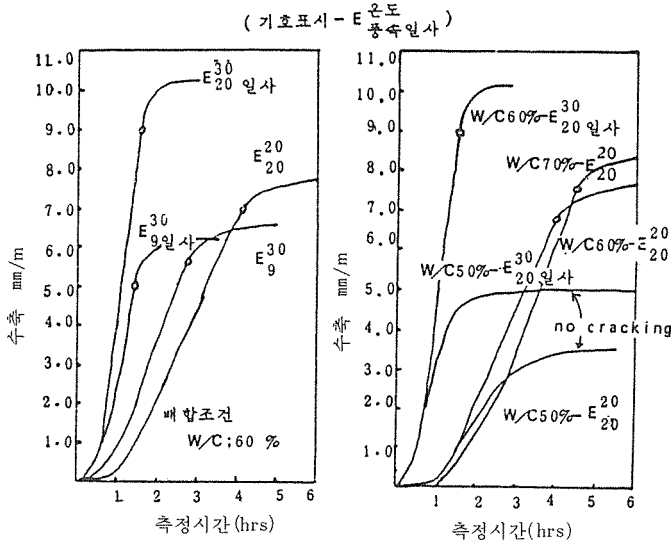


그림 12. 기후조건에 따른 건조수축

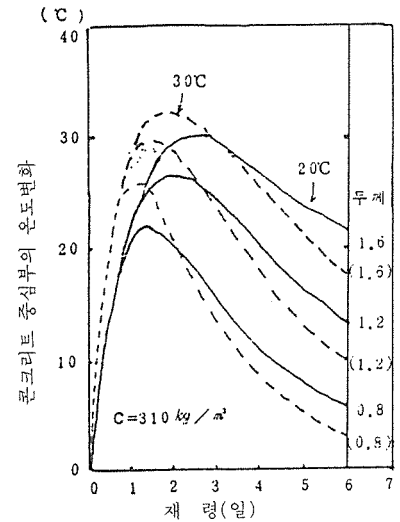


그림 13. 타설온도에 따른 콘크리트 온도상승 및 강하

Slump를 회복했을 때, 약 105의 강도저하가 발생되었다. 일반적으로 하절기의 자연양생도는 표준양생강도의 75~85%수준이므로 실제 현장 구조물의 강도손실은 약 25~35%일 것으로 판단된다. 이는 동절기 시공의 동해피해보다도 더 심각한 피해이다.

표11은 하절기 타설지연에 따른 수축특성변화를 파악한 것이다. 실험결과, 타설지연이 길수록 건조수축이 커지므로써 균열발생염

려가 매우 크다.

한편, 그림14에서 각 온도조건에서 타설지연과 slump loss의 관계를 실험한 결과, 1시간이내로 타설이 지연되면, 주위온도 조건에 영향이 거의 없으나 그이상의 타설지연은 주위온도에 따라 slump loss의 영향이 매우 컸다. 그러므로 하절기에 1시간이상의 타설지연은 절대로 피해야 한다.

표 11. 타설지연과 기수처리시의 물성변화

타설 시간 온도	즉 시			1 시 간			1.5 시 간		
	슬럼프 (cm)	물 량 (kg/m <sup>3</sup> )	강 도 (%)	슬럼프 (cm)	물 량 (kg/m <sup>3</sup> )	강 도 (%)	슬럼프 (cm)	물량 (kg/m <sup>3</sup> )	강 도 (%)
20℃	12.1	175	100	9.5	177	98	8.0	178.4	96
35℃	11.4	175	100	10.2	177	96	7.8	179	92

表 12. 타설지연과 건조수축특성

타설시간 온도	즉 시				1 시 간				1.5 시 간			
	1 hr	3 hr	6 hr	12hr	1 hr	3 hr	6 hr	12hr	1 hr	3 hr	6 hr	12hr
20℃	0	0	0	0.01	0	0	0	0.03	0	0	0.02	0.03
35℃	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.03	0.03	0	0.01	0.04	0.04

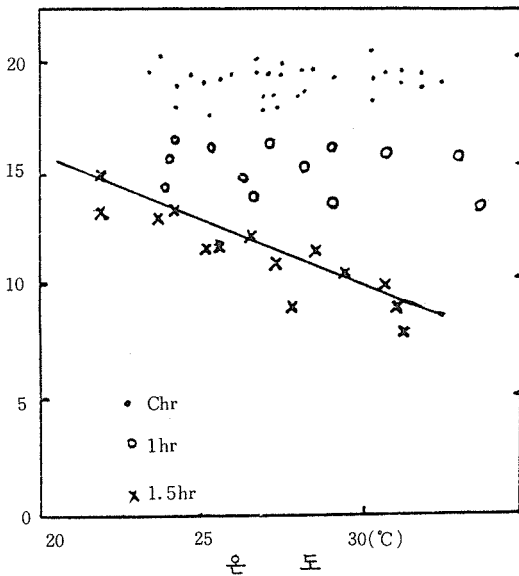


그림 14. 온도조건별 타설지연에 따른 Slump loss

## 5. 결 론

### 5.1 동결기시공

1) 미경화콘크리트의 동해는 동결온도에 영향이 크며, 일단 동해를 받은 후에는 어떤 조치를 취해도 물성회복이 불가능하므로 이의 방지를 위해서는

- 양생을 충분히 하며
- W/C를 낮추며
- AE제사용 및 단위시멘트량을 증가시켜야 한다.

2) 국내 동결기시공시에 다소의 강도가 발현된 경화콘크리트(약 20kg/cm<sup>2</sup>)는 1회동결을 받더라도 충분히 양생을 하면 전혀 동해피해가 없었다.

3) 국내 동결기시공시, 35kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 갖도록 보호양생을 실시했을 때는 강도손실이 10%미만이며, 50kg/cm<sup>2</sup>까지 보호양생을 했을 때는 안정된 시공이 가능하였다.

### 5.2 하절기시공

1) 혹서기에 콘크리트를 시공할 때, 약25~35%의 강도손실이 발생했으며, 이때 재료 온도를 낮추거나, 살수처리 등으로 양생을 하면 표준양생의 물성회복이 가능하였다.

2) 1시간이내의 타설지연은 주위온도에 영향이 없었으나, 그 이상의 타설지연은 주위 온도에 따라 slump loss의 영향이 매우 컸다. 이에 따라 1시간이상의 타설지연은 절대로 피해야 한다.

3) slump loss를 가수처리로 회복시켰을 강도손실이 약 25~35% 발생되어, 동결기의 동해피해보다도 더 심각하다. \*